

地下埋設物に対する施工・維持管理支援のための AR可視化システムの構築

Development of AR visualization system for underground structures to support construction and maintenance management

20N3100022I 洲崎 文哉 (計算力学研究室)
Fumiya SUSAKI/ Computational Mechanics Lab.

Key Words : Augmented Reality, underground structure, visualization

1. はじめに

近年、様々な分野において拡張現実感 (Augmented Reality, 以降 AR) 技術¹⁾を用いた可視化の有用性が認識され²⁾, 建設分野においても様々な諸活動において活用事例が報告されている^{3,4)}. AR 可視化が有効な分野の一つに、地上から見ることができない地下埋設物などの地下構造物の可視化がある.

著者らはこの点に着目して、タブレット端末を用いて、地下埋設物を対象に施工・維持管理を支援するためのAR可視化システムの構築を行ってきた^{5,6)}. しかし、3DモデルをAR可視化した際に、モデルを正しい位置に重畳しても浮いて見えてしまい、現実感を損なってしまうことや従来のマーカーを用いたAR可視化では、マーカーを底面に設置する場合、マーカーを水平に設置できない場所では、可視化する地下埋設物のCADモデルも傾いた状態で重畳されてしまうといった問題点が挙げられた.

そこで本研究では、前者の浮いて見える問題に対しては、穴のような描画表現を行う開口部モデルを用いて、違和感ない可視化を行った. 後者の傾いて重畳される問題に対しては、デバイスが認識している重力下向きを用いる初期位置合わせ手法を用いて、その問題の解決を行った. また、従来手法との比較によって、本手法の有効性の検証を行い、そして本システムの適用例として、地盤改良の施工に適用し、本システムの施工管理における適用性の検討を行った.

2. 本システムの概要

本システムにおけるフローチャートを図-1に示す.

(1) 開発環境

本研究では、統合開発環境としてゲーム開発プラットフォームであるUnityを用いる.

ARシステムの開発キットとして、iOSに対応するARKit⁷⁾を用いる. ARKitとは、AppleによるiPhoneとiPadの単眼カメラを使って動作する開発者向けのAR 開発キットである. ARKitの特徴としては、特殊な機器を必要とせず、iPhoneやiPad内の標準搭載のセンサーと画像解析

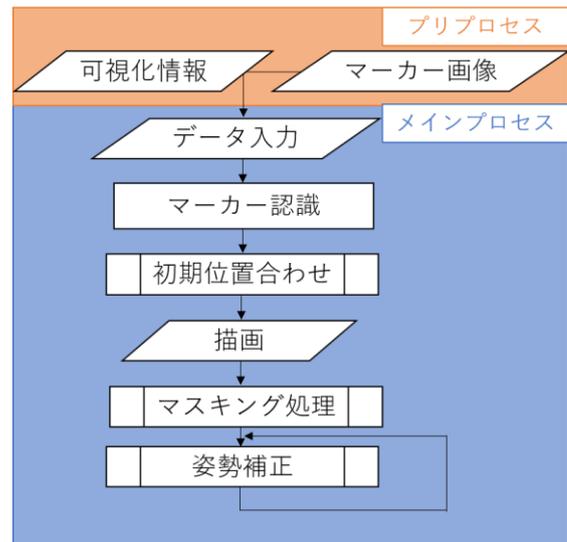


図-1 本システムにおけるフローチャート

からARを実現していることが挙げられる.

(2) データ入力

データ入力では、重畳させる可視化情報とマーカー画像を入力する. 可視化情報としては、あらかじめ作成した3Dモデルを与える. 地下埋設物のモデルについてはCADデータから作成を行い、座標と形状情報を持つ地下埋設物の3Dモデルを用いる.

(3) マーカー認識・初期位置合わせ

本システムでは、初期位置合わせにARKitの機能でマーカー画像の特徴点を検出する機能である画像トラッキングを用いる.

三脚でマーカーを設置する場合、設置個所に制限があり、人の往来があるような場所では利用に難があった. そこで、図-2(a)に示すように、既設構造物の面に対してマーカーを設置することで、マーカー設置の容易化と重畳精度の向上⁸⁾を行ったが、施工場所によっては、座標の変わらない既設構造物がない場合が考えられる. そのため、マーカーを底面に設置する場合があるが、従来のマーカーを用いたAR可視化では、マーカーを水平に設置できない場所では、可視化する地下埋設物の

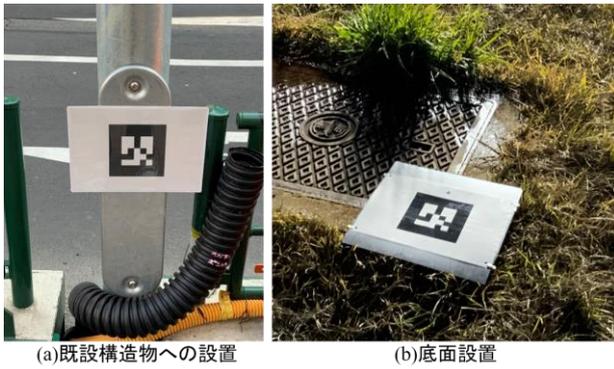


図-2 マーカー設置

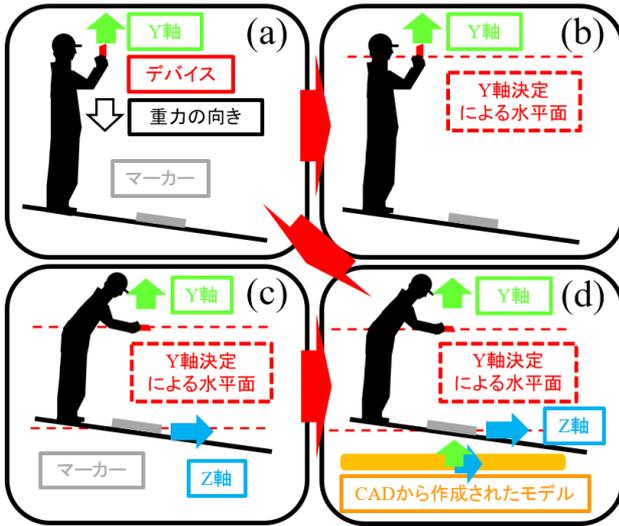


図-3 位置合わせ手法

CADモデルも傾いた状態で重畳されてしまう問題点があった。

そこで、図-2(b)に示すような底面にマーカーを設置する場合に有効な位置合わせ手法の構築を行った。アプリケーション起動時に取得される重力の下向きを用いて、Y軸を決定することで、水平面を決定する(図-3(a)(b)参照)。そしてマーカーを認識し、その水平面に対し、マーカーが向いている方向を取得することでZ軸が決定し、Y軸とZ軸が決定することで、自動的にX軸も決定する(図-3(c)参照)。マーカー認識時に取得した座標と決定した角度をモデルに与え、重畳位置を決定することで、水平を正しく取得したモデルの重畳が可能になる(図-3(d)参照)。また、三脚などでマーカーを設置する場合、設置できる箇所に制限があったが、平面だけでなくマーカー設置位置が斜面のような場合でも、水平を正しく重畳が可能となり、設置箇所の制限が緩和され、マーカー設置が可能になる。

(4) 描画・マスキング処理

AR可視化の際、可視化するモデルの切り替えや表示非表示の切り替えには、ユーザーインターフェイス

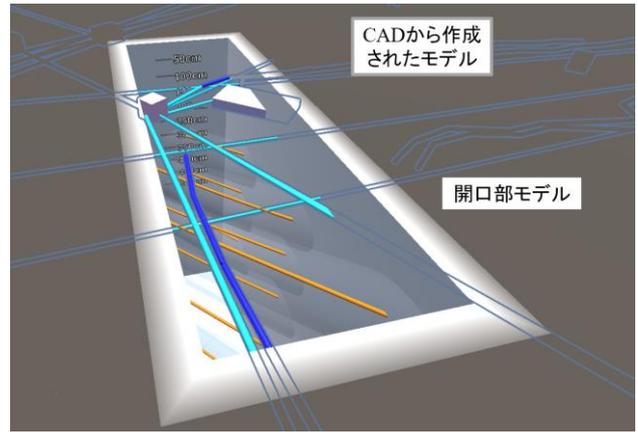


図-4 開口部モデル

として、ディスプレイ上にボタンを設置し、ディスプレイをタッチすることで、切り替えを行う。

AR可視化においては、重畳されたモデルは現実空間の物体の前後関係を正しく表現していないため、手前にある(地面に浮いている)ように見える問題が生じる。このため、それを回避するために本研究では、開口部モデルを用いたマスキング処理を施すことで、オクルージョン処理を行う。具体的には、図-4に示す開口部モデルを用いるが、開口部の外側の平面領域においては透明化するマスキング処理を施すことで、開口部モデルの外側の地下埋設物の3Dモデルを非表示にすることができる。また、開口部モデルの縁にグラデーションを入れることにより、現実の映像になじませる工夫を行った。

(5) 姿勢補正

本システムでは、初期位置合わせに画像トラッキングを用いた後、画像トラッキングからARKitのワールドトラッキングへ切り替える。ワールドトラッキングとは、カメラ映像から得られる特徴点の変化とデバイスに搭載されているモーションセンサーによりデバイスの加速度・傾き・方向などの慣性測定から現実空間とバーチャル空間との対応関係を推定する機能である。ワールドトラッキングを用いることで、マーカー画像を認識していない場合でも、可視化したモデルは与えられた座標位置に重畳され続けるため、マーカー画像をカメラ映像内にとらえ続ける必要がなくなり、自由な視点でのAR可視化が可能になる。

AR可視化における課題として、移動によって発生するモデルの重畳誤差や低照度による姿勢補正の不安定性が挙げられる。本システムでは、移動における重畳誤差について移動距離にほぼ比例して増大していく傾向があり、照度について約100ルクス程度あれば正しく動作することが確認されている⁹⁾。

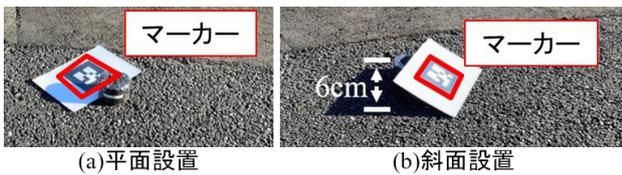


図-5 マーカーの設置方法

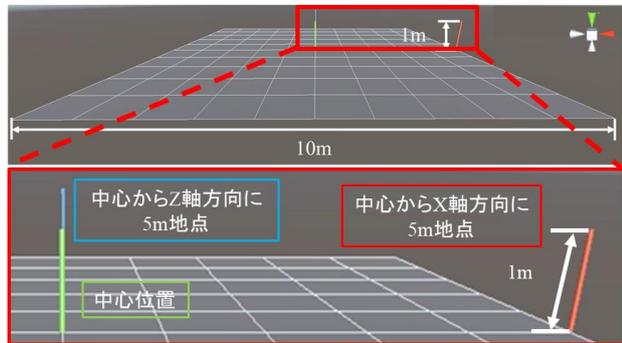


図-6 比較検証用モデル

3. 位置合わせ手法の比較検証

AR可視化において、位置合わせ手法は3Dモデルを正しい位置へ重畳させるために重要である。本研究では、重力下向きを用いる初期位置合わせ手法を構築し、モデルが傾いて重畳する問題を解決したが、その手法の有効性の検討が不十分であった。そこで、従来のマーカーから三軸(X,Y,Z)の角度と座標の取得を行う手法と本手法との比較・検証を行った。

(1) 検証方法

従来手法と本手法の比較検証を行うために、図-5にマーカーの設置方法を示す。図-5(a)では、平面にそのままマーカーを設置した場合、図-5(b)では、マーカーの片側を6cm高くし、斜面に設置した場合でそれぞれ従来手法と本手法で図-6に示すような10m四方の平面とマーカー中心位置とX軸方向、Z軸方向に中心位置から5m地点にそれぞれ直径5cm・高さ1mの円柱(X軸方向位置：赤色、中心：緑色、Z軸方向位置：青色)を設置したモデルを用いて従来手法と本手法の比較・検証を行う。

(2) 検証結果

検証の結果を図-7示す。図-7の左側に従来手法、右側に本手法による結果を示している。

図-7(a)に示すように、平面へのマーカー設置の場合、両手法での重畳において差異は見られず、大きな傾きもなく、重畳ができていた。しかし、図-7(b)に示すように、斜面にマーカーを設置した場合、従来手法では、X軸方向を向いた際に、可視化した平面と円柱から大きく傾いて重畳されてしまっていることが分かるが、本手法では大きな傾きもなく、水平に重畳できている。また、図-7(c)に示すように、従来手法では大きく傾いているが、本手法では、図-7(a)の平面に設置した場合と差異

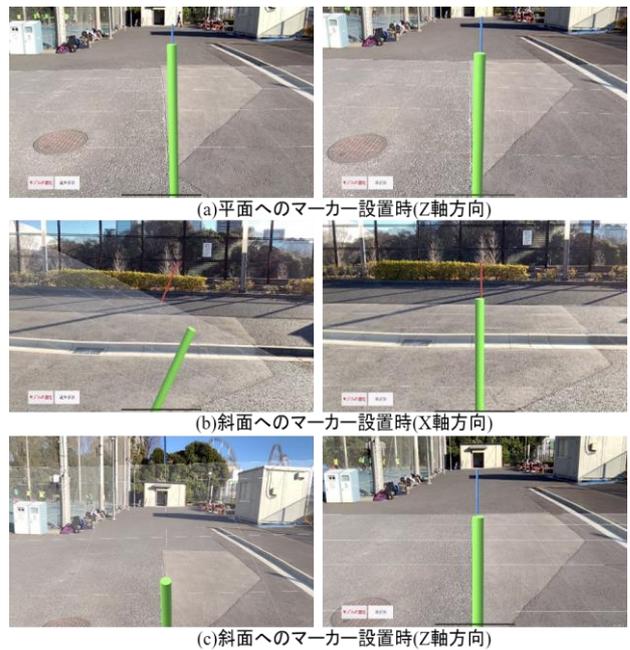


図-7 従来手法(左)と本手法(右)の比較結果

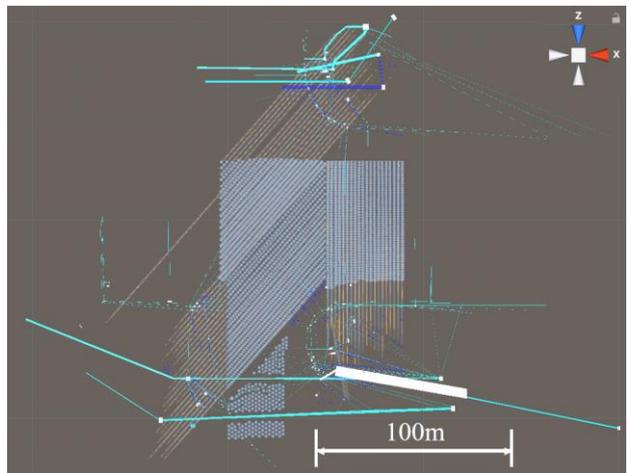


図-8 可視化する3Dモデル

が見られなかった。

本手法を用いることで、斜面のような場所でもマーカー設置が可能となり、安定して水平にモデルの重畳が行えるようになることが確認できた。

4. 適用例

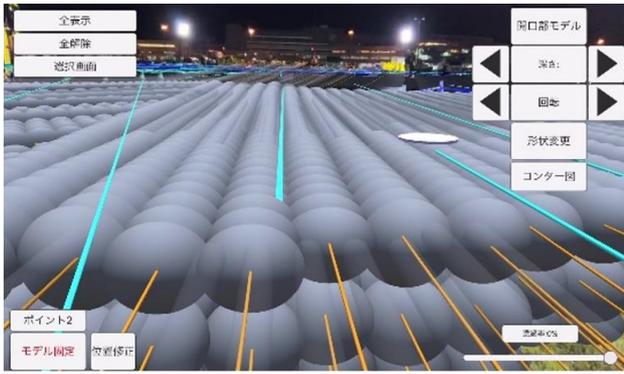
適用例として、地中に薬剤を注入することで地盤改良の施工を行う空港でのAR可視化を行った。

(1) 可視化概要

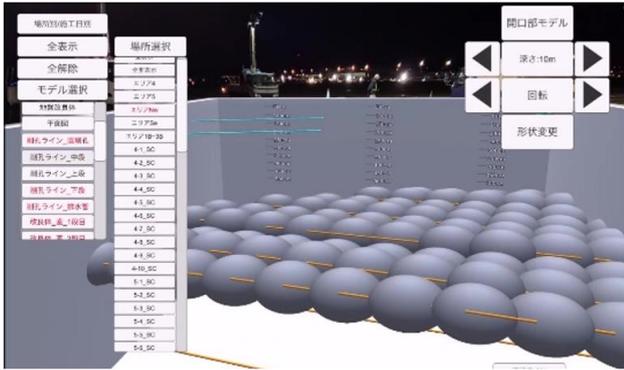
可視化する3Dモデルを図-8に示す。薬剤注入用の削孔を行い、薬剤を注入し、地盤改良体(薬剤によって固められた球体)を生成するため、実際の地下埋設物だけでなく、削孔のラインや地盤改良体のような出来形もモデルとして可視化を行った。

(2) 可視化結果

実際に現地でも可視化を行った結果を図-9に示す。



(a)全表示



(b)場所選択と深さ別(下段のみ表示)



(c)施工日別表示

図-9 可視化結果

図-9(a)に示すように、広範囲なモデルを可視化しているが、水平に正しく重畳出来ている様子が分かる。しかし、モデル数が多くあり、情報量が多い。そこで、範囲内のみを可視化できる開口部モデル(横幅20m・奥行30m)と場所選択・深さ層別で表示する機能を用いた様子を図-9(b)に示す。開口部モデルを用いることで、深さ方向に対する違和感の低減が確認でき、目盛りがあることで、より深さ方向への理解が深まることが確認できる。また、開口部モデルの範囲のみ可視化することで、位置の理解が容易になり、場所や深さごとでモデルを確認できることで、見たい情報を抽出して確認でき、より三次元的な理解が深まることが確認できる。

施工日別で改良体を確認できる機能を行った結果を

図-9(c)に示す。表示している施工日を赤、施工日より前の注入済み透過している。図-9(c)のように、日付と対応した改良体により施工箇所が分かり、注入済みを累積させることで施工進捗の把握が視覚から可能になる。

一方で、夜間における重畳において、照明が当たらないような暗所では、重畳自体が不安定になり、モデルが動いてしまったり、特徴点の少ない場所では、車などの移動物体の特徴点に反応してしまい、モデルが追従してしまうような問題が挙げられた。

5. おわりに

本研究では、地下埋設物に対する施工・維持管理支援のためのAR可視化システムの構築を行い、以下の結論を得た。

- 本システムの重力下向きを用いる初期位置合わせ手法は、斜面でもマーカー設置でき、モデルを正しく水平に安定して重畳が可能になった。
- 開口部モデルを用いることで、浮いて見える問題を解決し、目盛りによってより深さ方向の理解が深まることが確認できた。

よって、構築した本システムは、地下埋設物に対する施工・維持管理支援に有効であることが確認できた。

今後は、時間帯や場所による周辺環境の差異による重畳の安定性と精度に関する検討を行う予定である。

参考文献

- 1) Sutherland, I. E. :A head-mounted three dimensional display, *The AFIPS Fall Joint Computer Conference*, pp.757-764, 1968.
- 2) Caudell,T.P. and Mizell,D.W.:Augmented reality: An application of heads-up display technology to manual manufacturing processes,*IEEE Hawaii International Conference on System Sciences*,pp.659-669,1992.
- 3) 矢吹信喜：土木建設分野における VR/AR の活用に関する研究と実務への適用，計測と制御，Vol.55, No6, pp.483-488, 2016.
- 4) 池田直旺，花立麻衣子，樫山和男，車谷麻緒，吉永崇，前田勇司：SLAM 技術に基づく空間情報を用いた AR 可視化システムの構築とその適用性の検討，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，Vol.73, No.2, pp.I_48-I_54, 2017.
- 5) 洲崎 文哉，樫山 和男，琴浦 毅，石田 仁，吉永 崇：ARKit を用いた地下埋設物の AR 可視化システムの構築と重畳の高精度化の検討，土木学会論文集 F3 (土木情報学)，Vol.77, No.2, pp.I 131-I 139, 2021.
- 6) 洲崎 文哉，樫山 和男，琴浦 毅，石田 仁，吉永 崇：地下埋設物に対する AR 可視化システムとその重畳の精度と安定性，土木情報学シンポジウム講演集，Vol.46, pp.209-112, 2021.
- 7) Apple: ARKit AppleDeveloper, < <https://developer.apple.com/jp/augmented-reality/> >, (入手 2022.2.4).